RELATION ENTRE L'ÉVOLUTION DES ACIDES HYDROSOLUBLES DE DEUX LITIÈRES FORESTIÈRES ET LES PROCESSUS PÉDOGÉNÉTIQUES

S. BRUCKERT
Centre de Pédologie — C. N. R. S.
Faculté des Sciences — NANCY

et

F. JACQUIN
Laboratoire de Pédologie
ENSAN - C. N. R. S. - NANCY

SOMMAIRE

INTRODUCTION

L'étude des matières hydrosolubles extraites à partir des litières forestières a déjà donné lieu à de nombreux travaux de recherches. Citons en particulier ceux de BLOOMFIELD (1955-1956), DE LONG et SCHNITZER (1955), LOSSAINT (1959 et 1966). Tous les résultats expérimentaux mettent en évidence l'étroite relation entre la quantité de composés solubles et la mobilisation du fer.

Cependant, ces expériences effectuées avec des extraits stérilisés de litières, fournissent des résultats qui apparaissent comme contradictoires avec les observations faites en milieu naturel : par exemple, des extraits de litières non podzolisantes (charme, chêne), se révèlent plus actifs pour complexer le fer que des extraits de litières podzolisantes (pin sylvestre). Il est bien évident que la stérilisation modifie profondément les mécanismes naturels notamment les phénomènes dus à l'activité biologique. En conséquence, il nous paraît nécessaire de tenir compte des facteurs capables d'agir sur la stabilité ou la durée des composés solubles, principalement :

— l'intensité de l'activité microbienne du milieu,
— la vitesse de décomposition des litières, ceci en relation avec leur nature,
— la dégradation plus ou moins rapide des produits solubles par les microorganismes.

Dans cette optique, LOSSAINT (1959) a suivi l'évolution d'extraits non stérilisés de litières. Pour les feuillus, les résultats de cette expérience montrent une chute rapide du taux des matières hydrosolubles, suivie parallèlement d'une baisse accentuée du pouvoir complexant vis-à-vis du fer ; au contraire, pour les résineux la quantité des composés solubles diminue peu, de même que le pouvoir complexant.

Récemment, DOMMERGUES et DUCHAUFOUR (1965) ont déterminé la densité de la microflore des sols capable de dégrader un complexe organo-ferrique : le citrate de fer ammoniacal ; d'après leurs résultats, cette densité est maximum dans les sols bruns lessivés, minimum dans les podzols. Ces faits tendent donc à démontrer l'intervention de la microflore dans les processus de lessivage et de podzolisation.

Parmi les composés organiques responsables de la mobilisation du fer, les acides de faible poids moléculaire jouent certainement un rôle important. En effet, par une expérience de microfiltration, BLOOMFIELD (1955) prouve que les agents complexants sont des composés de poids moléculaire peu élevé ; plusieurs auteurs mettent en évidence le rôle des groupes carboxyliques et phénoliques (DE LONG et SCHNITZER (1955), KAURICHEV et NOZDRUNOVA (1961), COULSON et *al.* (1960). Plus tard, NYKVIST (1963) détermine la composition des matières hydrosolubles extraites à partir de différentes litières ; MUIR et *al.* (1964) dosent les acides organiques des aiguilles de pin sylvestre et mesurent leur pouvoir complexant.

Récemment, nous avons suivi l'évolution des acides hydrosolubles sous l'influence de quelques facteurs (JACQUIN et BRUCKERT, 1965). Nous avons mis en évidence la persistance des produits acides dans le cas du mor et à l'opposé, leur rapide disparition dans celui du mull ; ce résultat nous a suggéré d'entreprendre une étude de l'évolution saisonnière des acides organiques dans plusieurs horizons situés dans leur contexte naturel, puis de confirmer certains points importants par de nouvelles expériences de laboratoire.

I. — RECHERCHES EFFECTUÉES SUR LE TERRAIN : ÉVOLUTION DES HORIZONS EN PLACE

1) Choix des stations et des sols.

Pour suivre l'évolution des acides hydrosolubles, nous avons choisi des horizons définis, appartenant à deux types fondamentaux de sols : sols lessivés, sols podzoliques. Dans ce but, nous comparons régulièrement un sol brun lessivé et un podzol humo-ferrugineux.

a) *Sol brun lessivé.*

Emplacement et situation : Forêt de Haye (Grande Fraize, Meurthe-et-Moselle) - Altitude 340 m.
Roche-mère : marnes aaléniennes.
Végétation : *Quercus sessiliflora,* plantes herbacées caractéristiques du mull eutrophe.

Profil :

L : Litière de chêne à décomposition rapide.

A_1 (0-8 cm) : Mull eutrophe brun sombre (10 YR 3/3) (1), finement grumeleux, très poreux, texture limoneuse, racines très abondantes.

---

(1) Code Munsell : état humide.

A_2 (8-30 cm) : Brun jaunâtre sombre (10 YR 4/4) à structure grumeleuse, plus fine, porosité plus faible; texture limono-argileuse ; nombreuses racines.

B (30-50 cm) : Brun rougeâtre (5 YR 4/4) ; structure polyédrique à enrobements brillants ; texture limono-argileuse ; base de l'horizon plus compacte présentant des marques de marmorisation.

Analyse : (% de terre sèche à l'air).

	pH	C	N	C/N	S (x)
L	4,75	44,74	1,14	39,2	39,8
A_1	5,4	2,68	0,25	10,7	12,02
A_2	4,25	2,10	0,13	16,1	4,2
B	4,8	1,27	0,09	13,8	8,86

	T (x)	S/T	Fer libre	Argile
L	55	72,36		
A_1	16,15	73,2	2,28	22,6
A_2	15	28	2,77	29,1
B	17,75	49,8	3,39	35,6

(x) m. e./100 g à pH 7.

Morphologiquement et chimiquement, ce sol à mull très actif évolue selon un processus de lessivage.

b) *Podzol humo-ferrugineux.*

Emplacement et situation : Forêt communale de Biffontaine (Vosges) Altitude 500 m, pente exposée au sud.
Roche-mère : grès vosgien.
Végétation : *Pinus silvestris, Calluna vulgaris, Vaccinium myrtillus.*

Profil :

Mor (0-8 cm) : Xéromor fibreux, brun noir, traversé par un feutrage dense de racines d'éricacées ; se subdivise en plusieurs couches :

L (3 cm) : Litière d'aiguilles récemment tombées, verdâtre à brun clair, d'écorces de pin, de feuilles de *Vaccinium myrtillus* et de *Calluna vulgaris,* mélangée à la base à des résidus végétaux partiellement transformés.

F : Couche de fermentation sensu-stricto, fibreuse, formée de débris végétaux liés (aiguilles grisâtres fragmentées) et parcourue d'un feutrage mycélien.

H : Couche humifiée noire peu développée (F + H = 3 cm environ).

A_1 (6-8) : Base du mor de couleur gris-rougeâtre sombre (5 YR 2/2) à structure particulaire ; matière organique juxtaposée aux grains de quartz brillants.

A_2 (8-55 cm) : Cendreux gris (5 YR 4/1) ; texture sableuse meuble ; structure particulaire ; traînées grisâtres humifères et taches blanchâtres.

B_h (55-60) : Brun rouge sombre (2,5 YR 3/4) ; horizon d'accumulation humique ; friable ; structure pelliculaire.

B_{fe} (60-70) : Alios durci rouge jaune vif (5 YR 4/6), passant progressivement à la roche-mère rose (10 R 4/4).

Analyse : (% de terre sèche à l'air).

	pH	C	N	C/N	S (x)
Mor L	3,8	39,66	1,01	39,4	12,6
Mor A_1 ...	3,1	11,25	0,30	37,5	1,0
A_2	4,9	0,27	0,03	9,0	0,21
B_h	4,1	2,58	0,14	18,4	0,28
B_{fe}	4,7	1,01	0,04	25,2	0,22

	T (x)	S/T	Fer libre	Argile
Mor L	62,5	20,15		
Mor A_1	37,5	2,66	0,1	0,13
A_2	1,8	11,6	0,1	0,06
B_h	15,6	1,7	0,69	0,35
B_{fe}	8,7	2,5	0,71	0,49

(x) m. e./100 g à pH 7.

Les résultats analytiques et la différenciation du profil caractérisent nettement l'évolution podzolique de ce sol.

En vue de l'expérimentation au laboratoire, outre ce sol, nous avons analysé un deuxième podzol humo-ferrugineux, également situé sur versant sud et sous peuplement de Pins silvestres (Taintrux, Vosges). Ces deux sols ont montré une évolution absolument semblable au cours de nos expériences.

2) **Méthodes d'étude.**

a) *Dates de prélèvement du matériel.*

Le choix des dates tient compte des saisons et de périodes caractérisées par un facteur dominant tel le gel, la sécheresse... Les récoltes s'échelonnent aux époques suivantes :

1964 : Novembre au moment de la chute des feuilles de chêne (4,8°C)[1].

(1) Température mensuelle moyenne à Nancy.

1965 : Janvier en période de gel (0,3°C)[1].
Avril, par temps humide (9,3°C).
Juillet, au cours d'une période sèche (18°C).
Septembre, avant la chute des feuilles, pendant une période pluvieuse (14,8°C).
Novembre, à la chute des feuilles (4,8°C).
Décembre, au cours d'un hiver pluvieux (1,1°C).

1966 : Février, pendant une période pluvieuse (2,1°C).

b) *traitement et désignation du matériel.*

Le matériel étudié comprend la litière de chêne et le mull du sol brun lessivé et dans le cas du podzol, les horizons L et A_1 du mor.

Les prélèvements sont effectués en plusieurs points choisis au hasard, sur une surface de 300 m2 et ensuite homogénéisés ; nous récoltons respectivement : environ 600 g de litière de chêne, 1000 g de la fraction L du mor et 1 500 g des horizons A_1.

Les échantillons séchés à la température du laboratoire et conservés dans leur état naturel (litières non broyées) sont rapidement soumis à l'analyse.

c) *Détermination des acides hydrosolubles.*

Extraction : Après une nuit de macération, les échantillons sont percolés à l'eau froide pendant 6 heures ; l'eau recueillie correspond à 10 fois le poids du matériel traité. Ce poids est respectivement de 100 g pour les feuilles de chêne, 300 g pour la litière de pin et de 600 g pour les horizons A_1.

Isolement des acides : Les percolats, concentrés sous vide partiel à une température inférieure à 40°C, subissent les traitements suivants :

— acides phénols : après acidification à pH 1, ces produits sont extraits par l'éther éthylique d'une façon continue pendant 6 heures.

— acides aliphatiques et minéraux : nous les isolons par l'emploi de résines Amberlite IRA 400 et IR 120.

Identification et dosage : Les acides sont identifiés et dosés par chromatographie selon les techniques exposées dans un précédent travail (1965).

(1) Température mensuelle moyenne à Nancy.

d) *Détermination du poids des litières à l'hectare.*

Cette évaluation *absolument essentielle,* permettra ultérieurement le calcul de la quantité d'acide libérée à l'hectare.

1) *Litière de chêne.*

La méthode de mesure la plus utilisée consiste à ramasser à l'aide d'un cadre de 50 × 50 cm, dix échantillons prélevés au hasard (VAN DER DRIFT, 1963) ; il suffit alors de déterminer le poids de matière sèche à l'air. L'utilisation statistique des résultats permet de calculer le poids moyen de litière à l'hectare.

La litière étudiée, composée de feuilles de chêne (80 %) et de celles du sous-bois (charme, hêtre, érable) fournit un poids moyen de 3,4 t/ha ± 0,37. Ce chiffre est en accord avec les mesures effectuées habituellement dans nos régions ; VAN DER DRIFT (1963) détermine un poids compris entre 3,2 et 4 t/ha ; REMEZOV (1961) pour une chênaie, estime un poids de 3,5 t/ha.

2) *Mor : fractions L et F + H.*

La litière de pin étudiée donne naissance à un mor que nous subdivisons en deux fractions :

L (3 cm) *sur laquelle porte notre étude.*

F + H (3 cm, H très peu développé).

Pour déterminer le poids de mor à l'hectare, MAC FEE et STONE (1965) mesurent la densité apparente et l'épaisseur de l'horizon organique, puis en déduisent le tonnage à l'hectare. Dans le cas de notre expérience, les résultats ainsi obtenus sont exprimés ci-dessous :

Horizon	Epaisseur cm	Densité kg/dm³	Poids t/ha
Mor L	3	0,12	36 ± 3
Mor F + H ..	3	0,15	45 ± 4

REMEZOV (1961) cite pour une litière de pin (L) des chiffres variant de 37 à 46 t/ha. Suivant l'âge du podzol, le tonnage du mor peut être beaucoup plus élevé ; MAC FEE, pour des podzols développés sous *Picea rubens* et *Betula alleghaniensis* donne les valeurs suivantes :

Age années	Epaisseur cm	Densité kg/dm³	Poids t/ha
90	8	0,16	127
300	16	0,14	242

WITTICH (1963) estime pour un mor de 12 cm, un poids de 100-150 t/ha. Nos résultats, compte tenu de l'épaisseur relative du mor, rejoignent ceux de REMEZOV pour la fraction L et de WITTICH pour la totalité de l'horizon organique (81 t/ha).

e) *Vitesse de décomposition des litières :*

1) Litière de chêne :

Nous avons schématiquement déterminé la vitesse de décomposition de cette litière à l'aide des résultats de différents auteurs et de nos observations. Pour VAN DER DRIFT (1963), sur mull très actif, 80 % de la litière est décomposée en avril ; en année humide, la litière est presque entièrement décomposée en juin ; à cette même époque, exceptionnellement en année sèche, il peut rester 20 à 30 % de litière. REMEZOV (1961) constate une décomposition plus rapide, lorsque les feuilles de chêne sont en mélange avec celles du sous-bois ; nous observons un phénomène analogue pour la litière étudiée, qui disparaît presque complètement chaque année.

La vitesse de décomposition, étroitement liée à l'activité biologique du milieu, varie avec la saison : forte au printemps et en été, elle est moins élevée en automne et faible en hiver (VAN DER DRIFT ; REMEZOV ; BOCOCK et GILBERT, 1960). Il nous paraît donc possible d'établir à partir de ces résultats la variation saisonnière du poids de la litière en pourcentage du poids initial ; elle est exprimée par les chiffres suivants :

	Nov.	Janv.	Avril	Juillet	Sept.
% restant ..	100	95	75	45	25
t/ha	3,4	3,23	2,55	1,53	0,85

2) Mor : Litière de pin.

Comparée à celle des feuilles de chêne, la décomposition des aiguilles de pin est beaucoup plus lente. KENDRICK et BURGES (1962) suivent leur désagrégation et observent qu'elles mettent 7 à 10 ans pour parvenir au stade humifié. Il est donc possible, dans le cadre de cette étude annuelle, de considérer comme constante la masse du mor.

f) *Expression des résultats.*

La quantité d'acides hydrosolubles est exprimée à la fois par rapport au poids de matière sèche et par rapport à l'hectare. Dans le premier cas, les résultats traduisent la richesse en acides du matériel analysé ; dans le second, les chiffres permettent de comparer, à surface égale, la quantité d'acide effectivement libérée par chaque litière et pouvant intervenir dans les processus pédogénétiques.

D'autre part, nous désignons les acides hydrosolubles par les abréviations suivantes :

mal. : malique ; *cit. :* citrique ; *ox. :* oxalique ; *succ. :* succinique ; *lact. :* lactique ; *gluc. :* glucuronique et galacturonique ; *van. :* vanillique ; *p-hb. :* p-hydrozybenzoïque ; *p-cou. :* p-coumarique ; *phos. :* phosphorique ; *sulf. :* sulfurique et chlorhydrique.

3) **Résultats des recherches effectuées sur le terrain :**

a) *Résultats exprimés en poids par rapport à la matière sèche.*

Le tableau I exprime, en microgramme par gramme de matière sèche, le taux des acides identifiés dans tous les extraits.

1) *Comparaison des litières.*

Au départ, à la chute des feuilles, la litière de chêne libère 5 à 10 fois plus d'acides organiques et 20 fois plus d'acide phosphorique que la litière de pin. Ce résultat mentionné dans notre première étude (1965) confirme les travaux de NYKVIST (1963).

Au cours de la décomposition, l'évolution générale des acides est nettement différente dans les deux milieux ; dans le cas de la litière de chêne, la quantité d'acide observée diminue ou subit des fluctuations importantes, alors que dans celui d'une litière de pin, le taux des acides varie peu ou tend à augmenter. Dans le détail, ces variations traduisent : *d'une part* une dégradation des acides ; celle-ci s'avère beaucoup plus intense dans le cas du chêne ; *d'autre part,* dans les deux milieux, une synthèse des acides oxalique, succinique, lactique et phénoliques, et dans le milieu podzol, une synthèse d'acide citrique.

2) *Comparaison des horizons A_1.*

Les chiffres mettent en évidence l'évolution suivante : *pour le mull,* le taux des acides passe par un maximum en hiver et au printemps ; on remarque en particulier une augmentation marquée d'acide succinique ; l'acide citrique au contraire, diminue rapidement.

TABLEAU I. — ÉVOLUTION SAISONNIÈRE

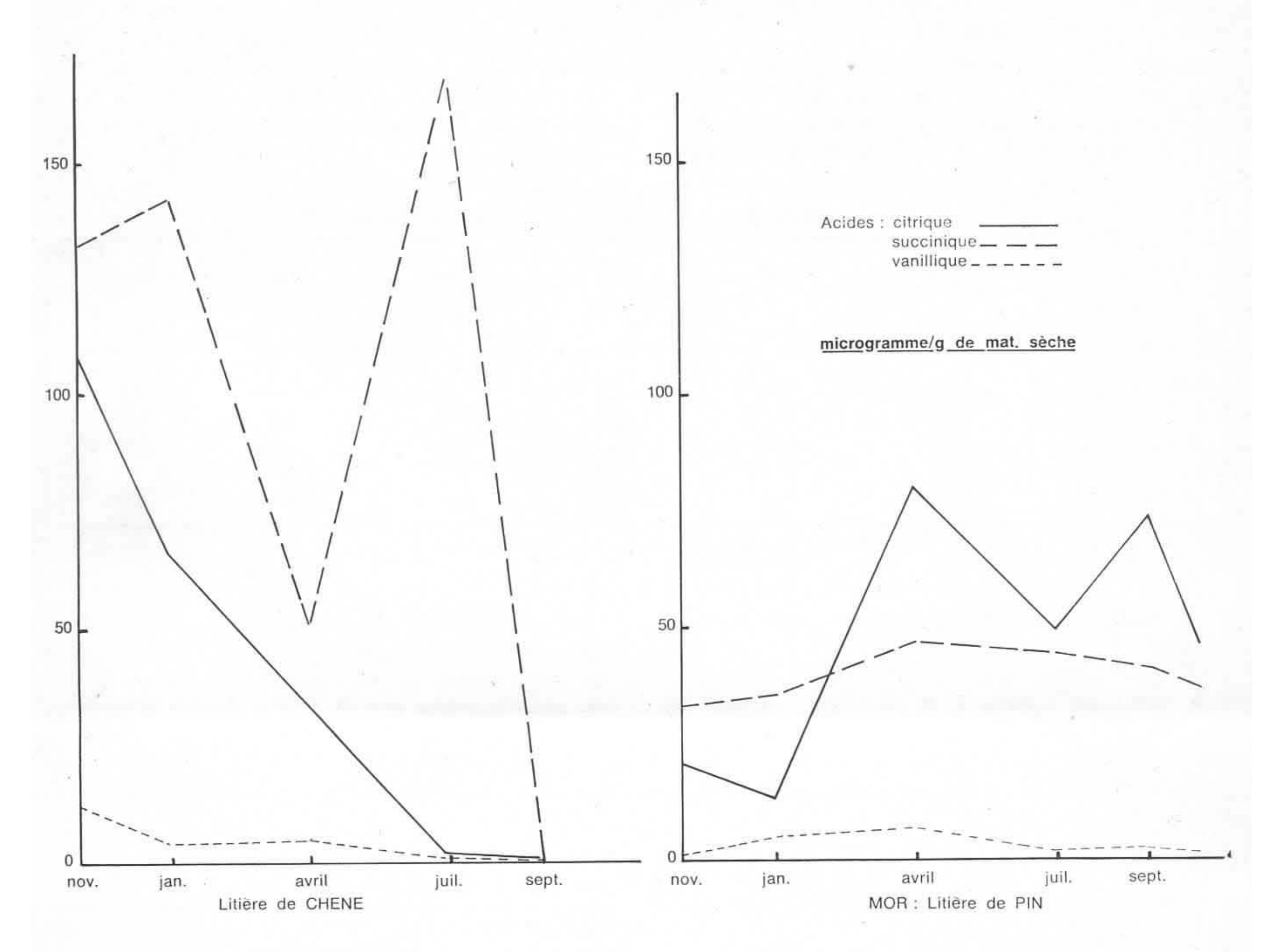
Quantité des divers acides rapportée au poids de matière sèche à l'air.

Echantillon Date de prélèvement	Acides en microgramme/gramme de matière sèche à l'air										
Litière de chêne :	mal.	cit.	ox.	succ.	lact.	gluc.	van.	p-hb	p-cou	phos.	sulf.
Novembre	152	110	103	133	107	80	12,8	7,3	6,6	838	225
Janvier	34	68	95	143	105	55	3,9	3,25	3,7	461	133
Avril	30	35	80	52	12	25	4,95	3,85	4,67	338	122
Juillet	tr.	tr.	110	170	190	5	2	2,15	0,25	421	154
Septembre	tr.	tr.	75	tr.	41	tr.	1,1	3,4	tr.	149	128
Mull :											
Novembre	tr.	tr.	3	10,5	9,5	0	tr.	0,15	n. d.	3	21
Janvier	3	2	5	34	12	0	0,28	0,25	tr.	1,2	11
Avril	3	4	2	32	10	0	0,40	0,29	0,12	6,5	23
Juillet	0	tr.	7,5	6,3	tr.	0	0,14	0,16	tr.	1,2	26
Septembre	tr.	tr.	10	4	tr.	0	0,05	0,03	tr.	1,4	36
Mor : litière											
Novembre	11	21	18	34	27	13	1,58	1,56	0,7	36	66
Janvier	7	14,5	29,3	36,3	29,8	16,5	4,03	1,46	1,4	93,3	48
Avril	5	79	43	46,5	33,5	29,5	6,95	2,12	3,3	130,9	128
Juillet	3	50,3	55	45	71,6	16,6	1,05	0,27	0,5	99,1	54
Septembre	10,7	72,8	40	42,5	88,3	19	2,64	0,70	1,2	105,9	87
Mor : A_1											
Novembre	3	11	7	10	3	5	0.53	0,10	n. d.	14	25
Janvier	4	25	10	7,6	tr.	3	1,03	0,16	tr.	28,4	27
Avril	3	23	12	8,7	tr.	7,3	0,80	0,23	0,17	26,6	38
Juillet	2	24,7	13,3	13,8	4	5	0,83	0,24	0,05	11,7	39
Septembre	1	22,5	14	30,2	8	3,6	1,91	0,28	0,25	24,3	46

tr. = traces, n. d. = non dosé.

PLANCHE I

EVOLUTION SAISONNIERE (extrait du tableau I)



pour le mor, on observe en toute saison l'abondance de tous les acides, notamment *des acides citrique et vanillique.* En effet, le pourcentage de ces deux acides, exprimé par rapport à la somme des acides organiques, différencie nettement les deux horizons A_1 :

	Horizons	Novembre	Janvier	Avril	Juillet	Septembre
Acide citrique	mull ...	traces	3	7	traces	traces
	mor A_1.	27	49	41	38	27
Acide vanillique ..	mull ...	traces	0,57	0,76	1	0,35
	mor A_1.	1,32	2,01	1,45	1,29	2,32

Dans le mor A_1, l'acide citrique représente donc toujours une fraction importante des acides organiques ; toute proportion gardée, il en est de même pour l'acide vanillique.

D'autre part, une autre divergence apparaît concernant la proportion relative des acides aromatiques : la quantité d'acide vanillique, du même ordre de grandeur que celle de l'acide p-hydroxybenzoïque dans le mull, l'emporte sur ce dernier dans le mor A_1.

3) *Comparaison des litières et des A_1.*

Pour chaque échantillon, nous calculons la somme totale des acides (tableau II).

Comme le montrent les résultats, le mor A_1 est une fois et demi à trois fois plus riche en acides que le mull. D'autre part, il semble intéressant d'évaluer les acides des A_1 exprimés en pourcentage par rapport aux acides des litières : (a) pour le mull ; (b) pour le mor.

En toute saison, ce pourcentage reste faible dans le mull, alors qu'il demeure élevé dans le mor. Ce résultat essentiel, mis en évidence lors de notre premier travail, reste donc valable au cours de l'évolution saisonnière.

TABLEAU II
Evolution saisonnière : Comparaison des litières et des A_1.

	Litière de chêne (x)	Mull (x)	a %	Mor litière (x)	Mor A_1 (x)	b %
Novembre	1 775	47,2	2,6	229	78,6	34,3
Janvier	1 105	68,7	6,2	282	106,2	37,7
Avril	708	81,3	11,5	508	119,8	23,6
Juillet	1 054	41,3	3,9	396	114,6	28,9
Septembre	398	51,5	12,9	471	152	32,3

(x) Somme des acides : microgramme par gramme de matière sèche à l'air.
a = 100 Somme « mull »/somme « Litière de chêne ».
b = 100 Somme « mor A_1/somme « Mor litière ».

b) *Résultats exprimés en quantité d'acides à l'hectare.*

A partir du tableau I et en tenant compte de l'évolution du poids des litières, nous calculons la quantité d'acides organiques, exprimée en gramme par hectare. Ces résultats sont consignés dans le tableau III.

Au début, si un gramme de litière de chêne fraîchement tombée, contient plus d'acide qu'un gramme de litière de pin (cf. les résultats précédents), il n'en est plus de même lorsque l'on considère la quantité d'acide évaluée à l'hectare : *la litière de pin libère alors jusqu'à 3 fois plus d'acide que celle de chêne.* On note une seule exception : celle de l'acide malique.

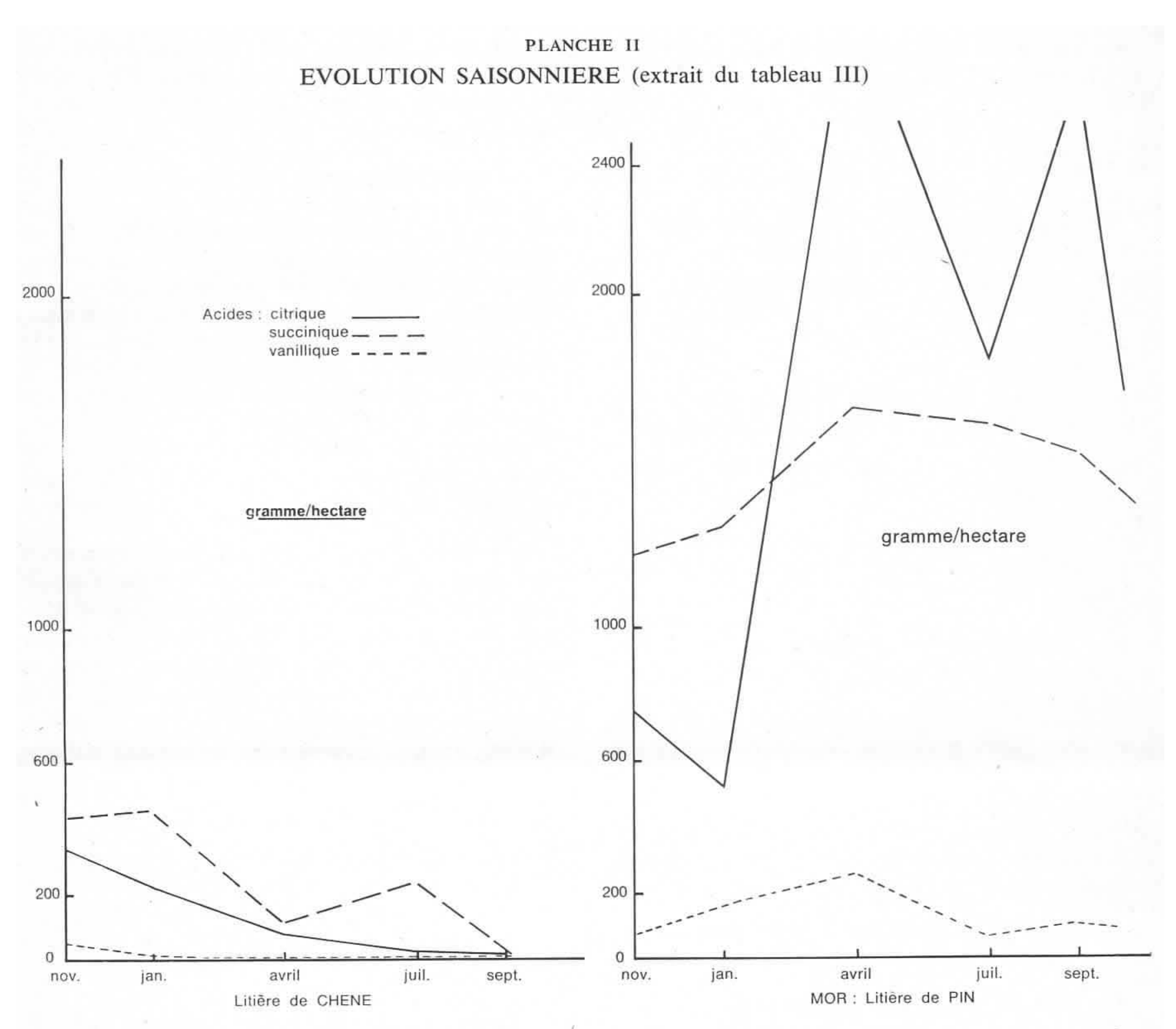
TABLEAU III
ÉVOLUTION SAISONNIÈRE : quantité des divers acides rapportée à l'hectare

LITIÈRE DE CHÊNE :		Teneur des acides : g/ha								
Date de prélèvement	Poids de la litière t/ha	mal.	cit.	ox.	succ.	lact.	gluc.	van.	p-hb	p-cou
Novembre ...	3,4	516,8	374	350,2	452,2	363,8	272	43,5	24,8	22,1
Janvier	3,23	109,8	219,6	306,9	461,9	339,2	177,7	12,5	10,5	12
Avril	2,55	76,5	89,3	204	132,6	30,6	63,8	12,62	9,8	11,9
Juillet	1,53	tr.	tr.	168,3	260,1	290,7	7,7	3,06	3,3	0,4
Septembre ...	0,85	tr.	tr.	63,8	tr.	34,9	tr.	0,9	2,9	tr.
MOR - LITIÈRE DE PIN :										
Novembre ...	36	396	756	648	1 224	972	468	56,9	56,2	25,2
Janvier	36	252	522	1 055	1 307	1 073	594	145,1	52,6	50,4
Avril	36	180	2 844	1 548	1 674	1 206	1 062	250,2	76,3	118,8
Juillet	36	108	1 811	1 980	1 620	2 578	598	37,8	9,7	18,0
Septembre ...	36	385	2 621	1 440	1 530	3 179	684	95,0	25,2	43,2

tr. = traces.

PLANCHE II

EVOLUTION SAISONNIERE (extrait du tableau III)



Ce renversement de tendance serait encore beaucoup plus accentué si on tenait compte de la quantité d'acides également présente dans la fraction profonde du mor (F + H) ; dans ce but, il nous a paru intéressant d'effectuer un dosage des acides libérés par cette fraction, afin d'en déterminer l'ordre de grandeur ; les teneurs rencontrées respectivement dans les horizons L et F + H, prélevés à la même époque (février 1966) sont les suivantes :

		mal.	cit.	ox.	succ.	lact.
mor	L	21,5	85,8	46,7	55,4	45,1
mor	F + H .	16,3	89	42,5	42,3	11,5

		gluc.	van.	p-hb.	p-cou.	phos.
mor	L	34,5	3,5	1,7	3,3	175
mor	F + H .	15,5	3,3	1,9	4,1	136

Ces résultats prouvent bien que les deux fractions du mor libèrent des produits acides dans des proportions semblables : il est important de noter que dans nos résultats les chiffres ne concernent que la fraction L du mor (tableau III) et pourraient être multipliés par un coefficient compris entre 1,5 et 2.

Si maintenant on compare l'évolution saisonnière des deux litières, on note la tendance évolutive précédemment constatée : baisse des produits acides pour la litière de chêne, augmentation pour la litière de pin ; mais les *différences observées sont considérablement amplifiées,* En effet, pour la litière de chêne, à l'exception des acides oxalique, succinique et lactique, la diminution des composés solubles est beaucoup plus accentuée ; pour la litière de pin,

certains maxima atteignent parfois jusqu'à 4 fois la valeur observée à l'automne.

4) **Discussion.**

Nous analyserons les variations saisonnières de composition des acides successivement dans le cas de litières, puis dans le cas des horizons A_1.

a) *Litières.*

Rapportées soit au poids de matière sèche, soit à l'hectare, les quantités des divers acides renseignent :

dans le premier cas : sur les variations de composition interne des litières ;

dans le second cas : sur les quantités d'acides réellement libérées par chaque litière et parvenant à l'horizon A_1.

Les variations de composition interne des litières sont la résultante de processus complexes, agissant dans des sens différents :

— d'une part, production biologique ou apports d'acides organiques nouveaux : synthèse au cours de fermentations diverses ; apports entraînés des cimes par les pluies (COULSON et al., 1960 ; MORGAN et TUKEY, 1964) ou provenant d'exsudats racinaires (VANCURA et HOVADIK, 1965) ;

— d'autre part, disparation d'acides par dégradation microbiologique ou lessivage.

C'est tantôt l'un de ces processus, tantôt l'autre qui l'emporte, ce qui permet d'expliquer les fluctuations observées dans la composition des acides hydrosolubles. Rappelons à ce sujet quelques idées bien établies, et les applications qu'il est possible d'en tirer :

— En milieu biologiquement actif, les acides citrique et malique sont préférentiellement dégradés : aussi observe-t-on leur diminution rapide dans les litières de chêne.

— En milieu acide et peu actif au contraire, c'est la synthèse de l'acide citrique qui est favorisée (WEHMER, 1893 - MOLLIARD, 1922) : il semble en être de même de l'acide vanillique (JACQUIN, 1963 - SUNDMAN, 1964) ; aussi observe-t-on l'évolution inverse de ces éléments dans les litières de pin comparées à celles du chêne ; non seulement ces acides ne diminuent pas, mais encore ils augmentent en début de saison.

— L'accumulation des acides lactique et succinique est favorisée par les fermentations anaérobies (PASTEUR, BERTRAND et DUCHACEK, 1909) ; il est donc normal que leur quantité augmente en période humide, lorsque les litières sont saturées d'eau : or, le printemps 1965 a été exceptionnellement humide, ce qui explique que ces acides montrent une courbe croissante dans les deux types de litières, mais de façon beaucoup plus accentuée dans les plus actives, c'est-à-dire les litières de chêne ; cette accumulation est d'autant plus accentuée que les phénomènes de lessivage sont toujours réduits pendant la période de végétation, en raison de l'évapotranspiration.

Si on tient compte de la vitesse de décomposition des litières et si on exprime les quantités d'acides non en pourcentage de matière sèche, mais à *l'hetare,* les contrastes entre les différences évolutives des deux litières s'accentuent du fait de la disparition presque complète de la litière de chêne à la fin de la saison de végétation, alors que le mor du podzol subsiste presque intégralement, les apports estivaux de nouvelles aiguilles de pin compensant les pertes par minéralisation (KENDRICK, 1958).

Dans ces conditions, la presque totalité des acides organiques disparaît des litières de chêne au cours de la décomposition, alors que les teneurs initiales se maintiennent ou augmentent fortement dans la litière de pin.

L'acide citrique, réduit à des traces non dosables dès juillet dans la première, représente encore 2.500 à 3.000 g à l'hectare dans la deuxième. De même, en fin de saison, l'acide vanillique est 100 fois plus abondant dans le podzol que dans le sol à mull actif ; rappelons qu'il serait possible de doubler ces quantités, si nous tenions compte de la richesse en acides de la fraction F + H du mor. Or, les acides citrique et vanillique sont deux des agents les plus actifs dans les processus d'entraînement et de complexation du fer.

Cette évolution apparaît avec une particulière netteté si on exprime par 100 les teneurs initiales (valeurs en novembre) de chaque élément dans les deux milieux (tableau IV).

Tableau IV

Évolution saisonnière : *Acides rapportés à la teneur initiale égale à* 100 :

LITIÈRE DE CHÊNE	mal.	cit.	ox.	succ.	lact.	gluc.	van.	p-hb.	p-cou.
Novembre	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Janvier	21,2	58,7	87,6	102,1	93,2	65,3	28,7	42,3	54
Avril	14,8	23,9	58,2	29,3	8,4	23,5	29	39,5	53,8
Juillet	tr.	tr.	48,1	57,5	79,9	2,8	7,0	13,3	1,8
Septembre	tr.	tr.	18,2	tr.	9,6	tr.	2,1	11,7	tr.
Mor : LITIÈRE DE PIN									
Novembre	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Janvier	63,6	69	162,8	106,8	110,4	126,9	255,1	93,6	200
Avril	45,4	376,2	238,9	136,8	124,1	226,9	439,9	135,9	471
Juillet	27,3	239,5	305,6	132,4	265,2	127,7	66,4	17,3	71
Septembre	97,3	346,7	222,2	125	327	146,2	167,1	44,9	172

tr. = traces.

b) *En ce qui concerne les horizons* A_1, les mêmes tendances fondamentales précédentes s'observent au cours de l'évolution saisonnière. Mais l'opposition entre le mull et le mor est encore beaucoup plus accentuée du fait de la dégradation beaucoup plus rapide des acides organiques dans le premier milieu comparé au second ; ce résultat a été constaté au cours d'études antérieures (Bruckert et Jacquin, 1965 - Dommergues et Duchaufour, 1965).

En conclusion des recherches effectuées sur les milieux en place, l'action des différents facteurs entraîne les résultats généraux suivants :

— sur le mull, biologiquement très actif, les microorganismes et la faune transforment très rapidement la litière et les produits solubles : la synthèse des acides ne compense pas leur dégradation ; la litière ne s'accumulant pas, la quantité d'acide est maxima à la chute des feuilles. D'autre part, les acides entraînés par les pluies sont rapidement métabolisés par la microflore du mull eutrophe.

— au contraire, sur le mor, biologiquement très peu actif, les aiguilles de pin s'accumulent pendant plusieurs années : la quantité d'acides provient à la fois de la litière annuelle et de la décomposition du mor ; il y a donc renouvellement permanent de certains acides organiques dans le mor en cours de décomposition, alors que ce phénomène est beaucoup plus réduit dans le mull actif ; l'estimation effectuée à l'hectare met en évidence le rôle joué par la masse élevée du mor ; de ce fait, celui-ci constitue une source d'acides importante et constante en toute saison.

Ainsi, dans un sol brun lessivé, les acides hydrosolubles disparaissent à la fois dans la litière et dans le mull ; à l'inverse, dans un podzol, ces produits persistent dans toutes les fractions du mor

En ce qui concerne les acides citrique et vanillique, nous avons tracé les courbes d'évolution saisonnière à partir du tableau III (acides des litières en gramme/hectare) ; la surface comprise entre chaque courbe et l'axe horizontal permet de comparer la quantité d'acide libérée par hectare et par an par les deux litières et d'établir le bilan annuel suivant : l'horizon L du mor libère par hectare et par an 14 fois plus d'acide citrique et 9 fois plus d'acide vanillique que la litière de chêne.

D'autre part, la quantité d'acides citrique et vanillique périodiquement mesurée en A_1 (tableau I) et exprimée en % par rapport à celle des litières permet d'établir leur taux moyen de disparition : celui-ci atteint au plus 50 % dans le mor A_1, alors qu'il est voisin de 95 % dans le mull.

En tenant compte de ces deux données, il est possible de calculer la quantité d'acide parvenant au niveau de l'horizon A_2 ; ainsi, lorsque l'horizon A_2 d'un sol brun lessivé reçoit $1 \times 5 : 100$, soit 0,05 g/ha d'acide citrique ou vanillique, l'horizon A_2 d'un podzol s'enrichit de $14 \times 50 : 100$, soit 7 g/ha

d'acide citrique et de 9 × 50 : 100, soit 4,5 g d'acide vanillique ; en effectuant les rapports 7 : 0,05 et 4,5 : 0,05, on constate alors que l'horizon A_2 d'un podzol reçoit par hectare et par an, 140 fois plus d'acide citrique et 90 fois plus d'acide vanillique que l'horizon A_2 d'un sol brun lessivé.

II. — EXPÉRIENCES DE LABORATOIRE : ÉVOLUTION DES LITIÈRES ET DES HUMUS SOUMIS A INCUBATION

Lors de l'étude saisonnière, nous avons mis en évidence à la fois la disparition (dégradation et lessivage) et la production des acides organiques. Il apparaît donc intéressant de vérifier les phénomènes naturels par des expériences et de comparer ainsi les résultats de laboratoire aux résultats de terrain.

1) **Méthodes d'étude.**

Outre les méthodes d'extraction, de purification et d'analyse des acides hydrosolubles, décrites précédemment, nous avons utilisé pour ces expériences de laboratoire, les protocoles particuliers rapportés ci-dessous :

a) *Date de prélèvement et traitement du matériel.*

Le sol brun lessivé (Grande Fraize) et deux podzols humo-ferrugineux (Biffontaine et Taintrux) ont fourni le matériel de cette étude expérimentale. Les litières et les horizons A_1 déjà définis ont été récoltés en une seule fois à l'époque de la chute des feuilles de chêne.

Pour amplifier les résultats, les deux litières desséchées à la température du laboratoire, ont été finement broyées : en effet, ce traitement augmente considérablement la quantité d'acides hydrosolubes extraite des litières ; NYKVIST (1963) obtient un résultat identique, mais uniquement dans le cas des aiguilles de pin. Quant aux horizons A_1, pour accentuer les différences, nous les avons toujours enrichis par 20 % de litière broyée.

b) *Dispositif expérimental des incubations.*

Des prises de 60 g de litière de chêne, 100 g de litière de pin ou 125 g d'horizons A_1 enrichis sont placés dans des bocaux de 1 000 ml ; après une humidification égale à 100 % de l'humidité équivalente, les échantillons sont mis à incuber ; les bocaux, fermés seulement par un papier filtre, sont aérés une fois par semaine. Toutes les expériences sont effectuées en double exemplaire.

c) *Modalités des expériences.*

Une détermination préalable nous a permis de connaître la richesse en acides des échantillons broyés, secs à l'air ; par convention, nous désignerons ces teneurs initiales par l'expérience zéro.

Les expériences 1 et 2 fourniront la quantité d'acides d'un matériel ayant subi trois mois d'incubation, soit à 28°C (1), soit à 4°C (2).

Le expériences 3 et 4 renseignent sur la richesse en acides d'un matériel soumis à des lessivages suivis d'incubations à 28°C :

— 3 — Prélessivé : matériel ayant subi un lessivage puis une incubation d'un mois et demi.

— 4 — Prélessivé : matériel « 3—prélessivé », repris après le deuxième lessivage et incubé pendant 3 mois.

Les expériences 1 et 2 donnent la teneur des éléments solubles après 3 mois d'incubation, et fournissent surtout des indications sur les *processus de dégradation* des acides organiques : en effet, les teneurs dans les litières fraîches étant élevées au départ, les processus de décomposition l'emportent sur les processus de synthèse, bien qu'ils soient partiellement (ou même totalement) compensés par ces derniers pour certains acides (par exemple l'acide lactique).

Les processus de synthèse biologique sont au conraire mis en évidence par les deux dernières expériences (3 et 4), puisque les acides préexistants ont été éliminés par un lessivage (exp. 3) et même deux lessivages (exp. 4) avant incubation : nous nous attacherons surtout à discuter les résultats de la dernière expérience (exp. 4) car elle a comporté une durée d'incubation suffisamment longue pour pouvoir donner des résultats comparables à ceux observés sur le terrain au cours d'une saison de végétation.

2) **Résultats et analyses des différents traitements.**

Dans le tableau V, nous exprimons en microgramme par gramme de matière sèche, la teneur de chaque acide dans les différents traitements.

TABLEAU V

ÉVOLUTION AU LABORATOIRE : *Quantité des divers acides rapportée au poids de matière sèche à l'air :*

	ACIDES : Microgramme/gramme de matière sèche à l'air										
	mal.	cit.	ox.	succ.	lact.	gluc.	van.	p-hb.	p-cou.	phos.	sulf.
0. - *Teneur initiale :*											
Litière de chêne ..	651	811	775	167	tr.	292	47	81	28	2 250	885
Mull	25	78	92	76	tr.	36	17	22	10	115	102
Mor litière	69	171	82	54	tr.	94	3,5	7	0,1	269	187
Mor A_1	28	83	69	48	3	46	6,8	6.3	3,2	188	125
1. - *Incubé à 28 °C :*											
Litière de chêne ..	0	0	62	tr.	13	0	0,5	1,6	4	1 771	204
Mull	tr.	1,5	25	18	12,5	0	0,06	0,25	0,04	36	108
Mor litière	tr.	9,6	41,5	28,5	44	0	0,25	0,4	tr.	47	56
Mor A_1	tr.	5,6	33,6	19,1	33,2	0	1,6	1,2	0,07	52	105
2. - *Incubé à 4 °C :*											
Mull	tr.	3	31	14,3	42	0	0,15	0,4	0,03	29	135
Mor A_1	tr.	18,1	21	16,5	23	2	3,5	2,4	2,5	24	114
3. - *Prélessivé :*											
Litière de chêne ..	0	2,5	33.4	24,4	56,8	0	10,2	9,5	8	57	114
Mull	0	0,8	7,6	9,1	14,3	0	2,3	2,6	2,9	11	55
Mor Litière	0	1,3	13,5	17,2	15,5	tr.	1,9	1,8	1,1	18	64
Mor A_1	0	1,5	15,5	4,6	8,5	tr.	1,2	1,1	1,6	12	62
4. - Prélessivé :											
Litière de chêne ..	0	0	26	12,1	37,9	0	0,01	0,08	tr.	49	92
Mull	tr.	0	7,3	10	8,1	0	0,02	0,1	0,01	4	76
Mor Litière	0	2,5	19	15	28	3,5	0,03	0,11	tr.	42	121
Mor A_1	tr.	14	21	11,9	14	4,5	0,09	0,06	0,01	31	84

tr. = traces

a) *Teneurs initiales des échantillons:* expérience zéro.

Litière : ce matériel fraîchement tombé fournit des résultats semblables à ceux rapportés lors de l'évolution saisonnière : un gramme de feuilles de chêne libère plus d'acides qu'un gramme d'aiguilles de pin. D'autre part, les litières broyées libèrent des quantités d'acides jusqu'à 10 fois plus fortes que celles des litières non broyées (comparaison avec le tableau I).

Horizon A_1 : lors de l'extraction des A_1, les acides proviennent à la fois de l'horizon lui-même et de la litière ajoutée (20 %). Le taux dû à l'enrichissement devrait atteindre théoriquement 1/5 de la teneur en acides des litières pures ; si nous constatons effectivement ce résultat, pour le mor A_1, par contre, pour le mull, les quantités observées sont jusqu'à 5 fois inférieures aux teneurs théoriques (cas de l'acide malique). il est possible d'expliquer ce contraste par les propriétés physiques et chimiques du mull, entre autres, par une fixation des acides sur le complexe absorbant ; BLOOMFIELD (1966) fait également intervenir le rôle insolubilisant des oxydes de fer.

b) *Echantillons incubés trois mois à 28°C :* expérience 1.

La dégradation des acides organiques est effective dans tous les milieux ; on peut en mesurer l'importance par l'expression en pourcentage des quantités d'acides non dégradés par rapport aux teneurs initiales :

	cit.	ox.	succ.	van.	p-hb.	p-cou
Litière de chêne ..	0	8	tr.	1,06	1,97	14,28
Mull	1,9	27,2	23,6	0,35	1,1	0,4
Mor L	5,6	50,6	52,7	7,14	5,71	—
Mor A_1	6,7	48,7	39,7	23,5	19,0	2,2

Ces chiffres séparent les échantillons en deux groupes suivant leur origine :

— *litière de chêne et mull :* les faibles pourcentages traduisent l'intense dégradation des acides. On note cependant, dans le cas des feuilles de chêne, une dégradation moins élevée des acides phénols (acide p-coumarique) par rapport aux acides aliphatiques ; de même, dans le cas du mull, les acides oxalique et succinique représentent encore près du quart de la teneur initiale. Des résultats analysés plus loin (expérience « prélessivé ») permettent de penser que la dégradation de ces éléments s'accompagne parallèlement d'une production.

— *mor :* à l'inverse des observations précédentes, les pourcentages beaucoup plus forts mettent en évidence la faible dégradation des acides dans les milieux podzoliques.

Dans tous les substrats, l'acide malique disparaît et l'acide lactique, à l'état de trace dans l'extrait initial, augmente.

Ainsi, l'évolution des acides mesurée au laboratoire est en général semblable à celle observée sur le terrain dans des conditions analogues.

c) *Echantillons incubés trois mois à 4°C :* expérience 2.

Dans un souci de simplification, l'expérimentation a été poursuivie uniquement avec les horizons A_1.

A basse température, l'activité microbiologique est seulement ralentie. Comme dans le traitement précédent, nous calculons pour chaque acide, le pourcentage restant par rapport au taux initial :

	cit.	ox.	succ.	gluc.	van.	p-hb.	p-cou.
Mull	3,8	33,7	18,8	0	0,88	1,8	0,3
Mor - A_1 ..	21,8	30,4	34,4	4,3	51,5	38,1	78,1

Les acides oxalique et succinique évoluent de façon semblable dans ces deux milieux. Par contre, les acides citrique et surtout phénoliques subissent dans le cas du mull une baisse beaucoup plus prononcée que dans le cas du mor. D'autre part, dans les deux échantillons, l'acide malique disparaît presque totalement et l'*acide lactique augmente* (tableau V) : cette augmentation nettement plus forte que celle observée sur le terrain, pourrait être due à une anaérobiose plus marquée au laboratoire.

d) *Echantillons incubés après lessivage.*

Dans tous les milieux des expériences 3 et 4 on observe une synthèse d'acides organiques.

Expérience 3 *:* Il semble que le premier lessivage n'ait pas extrait la totalité des composés hydrosolubles ; d'autre part, la durée d'incubation (un mois et demi) paraît relativement courte pour permettre une dégradation intense de certains produits tels que les acides phénols (tableau V). Ces hypothèses sont d'ailleurs confirmées par les résultats de l'expérience 4.

Expérience 4 *:* Après deux lessivages intenses, les milieux sont très appauvris en matières hydrosolubles ; aussi la quantité d'acides déterminée doit correspondre sensiblement à celle de produits néoformés au cours des trois mois d'incubation. Dans tous les substrats, on note une production faible pour les acides phénols, beaucoup plus accentuée pour les acides oxalique, succinique et lactique ; de plus, uniquement dans les milieux podzoliques, on remarque la formation des acides citrique et glucuronique. Ces résultats montrent une concordance générale tout à fait satisfaisante avec ceux de l'étude saisonnière.

III. — COMPARAISON DES RÉSULTATS « TERRAIN-LABORATOIRE » ET DISCUSSION GÉNÉRALE

Il ne paraît pas possible d'effectuer une comparaison quantitative rigoureuse entre les résultats obtenus au laboratoire et ceux obtenus sur le terrain : les conditions expérimentales du laboratoire sont en effet par trop différentes des conditions de terrain. Mais il est possible de comparer dans les deux cas, les tendances évolutives résultant du jeu des processus de dégradation et de synthèse, et aboutissant, soit à une augmentation, soit à une diminution, voire dans certains cas, à une disparition complète des acides.

Or, en se limitant aux acides fondamentaux, on note les résultats suivants :

— *Acide citrique :*

Comme sur le terrain, on observe en cours d'incubation, une dégradation exceptionnellement rapide dans la litière de chêne et le mull (disparition presque totale, expérience 1 et 3),alors que la néosynthèse est nulle dans ces milieux.

La tendance inverse est constatée pour le mor ; la dégradation est relativement moins accentuée (expériences 1 et 2) alors que la néoformation est assez forte en L et même très forte en A_1 (expérience 4).

Ceci confirme remarquablement les résultats de terrain : *l'acide citrique disparaît en cours de décomposition dans les mulls, alors qu'il augmente dans les humus de podzol.*

— *Acide vanillique :*

Bien que portant sur des quantités moindres, les variations quantitatives de cet élément sont semblables à celles observées pour l'acide citrique : dégradation plus rapide dans les litières de chêne et les mulls que dans les horizons de podzol ; néoformation biologique 3 à 4 fois plus forte dans les milieux podzoliques. *Là encore les observations de terrain sont confirmées.*

— *Acides lactique et succinique :*

On avait observé, dans les expériences de terrain, la tendance à l'augmentation de ces éléments, favorisée par des conditions anaérobies (printemps humide saturant les litières) ; ceci est confirmé de manière très précise par l'expérience au laboratoire, surtout en ce qui concerne l'acide lactique : la formation de ce dernier élément est particulièrement importante puisqu'il augmente même fortement au cours de l'incubation à 28°C (expérience 1). Cette tendance s'observe en tout milieu biologiquement actif ou acide.

Ainsi, les résultats fondamentaux de l'expérience de terrain sont remarquablement confirmés par l'expérience au laboratoire :

1)Lorsque les acides organiques produits par la litière sont incorporés aux horizons A_1, soit par lessivage, soit par action biologique, ils sont métabolisés ou insolubilisés beaucoup plus rapidement dans le mull que dans le mor.

2) Les acides citrique et aromatiques disparaissent dans les litières et les mulls actifs, en cours de décomposition, l'inverse s'observant dans les mors des podzols.

3) Dans les deux milieux, l'acide lactique et, à un degré moindre, l'acide succinique augmentent en conditions mal aérées, donc en période humide.

Enfin, comme on pouvait s'y attendre, l'extraction des acides par lessivage est beaucoup plus efficace à partir d'un mor qu'à partir d'un mull ; ainsi, sous l'action des pluies, les acides migrent facilement à travers un profil de podzol, alors qu'ils sont davantage retenus au niveau d'un mull où l'activité microbiologique favorise leur disparition (DOMMERGUES et DUCHAUFOUR, 1965).

CONCLUSION

L'étude comparée de l'évolution saisonnière des acides hydrosolubles extraits au niveau des litières et des horizons A_1, révèle entre les sols lessivés et podzoliques des différences essentielles ; celles-ci sont confirmées par des expériences d'incubation au laboratoire.

Dans un premier temps, il nous paraît nécessaire de rappeler les principaux résultats de notre travail.

1) **Comparaison des litières**

a) *en automne :* les feuilles de chêne fraîchement tombées et la litière de pin (fraction L du mor) libèrent des composés de même nature, mais présentant des différences quantitatives importantes :

— *à poids égal de matière sèche :* le taux d'acides organiques de la litière de chêne est 5 à 10 fois plus élevé que celui de la litière de pin ;

— *à surface égale de terrain,* en raison du tonnage beaucoup plus fort de l'horizon L du mor, le résultat est alors inversé en faveur du mor, dans un rapport pouvant atteindre 3.

b) *au cours de la décomposition :* la quantité d'acides organiques subit des variations quantitatives et qualitatives, sous l'influence de nombreux facteurs :

— *à poids égal de matière sèche,* la quantité d'acides diminue dans le cas de la litière de chêne alors qu'elle tend à augmenter dans celui de la litière de pin.

— *à surface égale de terrain,* cette divergence évolutive est considérablement amplifiée :

Litière de chêne : on observe une libération massive, puis une chute brutale des composés acides; celle-ci résulte de la décomposition simultanée de la litière elle-même et des produits hydrosolubles qu'elle contient ; la *disparition des acides citrique et aromatiques est pratiquement totale.*

Litière de pin : la faible décomposition des aiguilles entraîne leur accumulation et l'épaississement du mor ; parmi les fractions de cet horizon, la partie supérieure, par sa masse élevée à l'hectare, libère à elle seule des quantités d'acides importantes toujours très supérieures à celles extraites de la litière de chêne ; *l'augmentation*

des teneurs en acide citrique et en acides aromatiques en particulier, oppose cette litière à la précédente. Cette opposition est encore accentuée si l'on ne considère pas seulement la fraction L, mais l'ensemble du mor : en effet, la fraction profonde du mor (F + H) libère des quantités d'acide presque égales à celles extraites de la partie superficielle, ce qui amplifie encore considérablement le contraste entre les horizons organiques des deux sols.

2) Comparaison des horizons A_1

A ce niveau, l'évolution des acides permet de noter plusieurs différences :

— en toutes saisons, le taux des acides est en général faible dans un A_1 de sol brun lessivé, élevé dans un A_1 de podzol humo-ferrugineux.

— parmi les acides hydrosolubles, les composés prédominants sont l'acide succinique dans le cas du mull, et les acides *citrique* et *vanillique* dans le cas du mor.

3) Comparaison des litières et des A_1

A poids égal de matière sèche, si l'on exprime en pourcentage, la quantité d'acides des horizons A_1 par rapport à celle des litières, on obtient une moyenne annuelle de 7,4 pour le mull et 31,4 pour le mor (tableau II) ; la décomposition des acides organiques — provenant de la litière et s'infiltrant en A_1 — progresse plus vite dans le premier milieu que dans le second.

En ce qui concerne les acides citrique et vanillique, il a été possible d'établir un bilan annuel dont le résultat est le suivant :

— le matériel résineux libère par hectare et par an, 14 fois plus d'acide citrique et 9 fois plus d'acide vanillique que le matériel feuillu.

Le coefficient de disparition de ces deux acides, voisin de 95 % dans le mull, atteint au plus 50 % dans le mor A_1 ; en tenant compte du bilan précédent, on en déduit que l'horizon A_2 d'un podzol reçoit 140 fois plus d'acide citrique et 90 fois plus d'acide vanillique que l'horizon A_2 d'un sol brun lessivé.

A partir de ces résultats, il est maintenant possible de tirer les conclusions suivantes :

— *dans un sol brun lessivé :* la litière s'appauvrit très rapidement en acides hydrosolubles et les conditions de milieu (forte activité microbiologique du mull, complexe absorbant...), concourent à métaboliser et à insolubiliser ces éléments dès l'horizon A_1.

— *dans un podzol humo-ferrugineux :* la litière et le mor libèrent lentement, mais régulièrement, de fortes quantités d'acides hydrosolubles ; les conditions de milieu (activité biologique réduite, pauvreté en éléments minéraux) favorisent une néoformation d'acides organiques, permettent à ces produits une stabilité plus grande et leur persistance dans l'horizon A_1 ; de plus, à ce niveau, l'extraction aqueuse des composés acides s'avère très efficace. Cette double constatation laisse présumer leur migration effective sous l'action des pluies à travers tout le profil, au cours de laquelle ces produits agressifs pourront provoquer la podzolisation.

Nous avons rappelé dans l'introduction, comment différents chercheurs, partant de l'étude des matières hydrosolubles, ont montré le rôle joué par des éléments acides de faible poids moléculaire dans la mobilisation du fer ; cependant, l'efficacité de ces agents complexants dépend d'une part de leur quantité initiale et d'autre part de leur stabilité au cours des saisons. Pour ces raisons, il nous a semblé important de suivre l'évolution des acides hydrosolubles sur le terrain et au laboratoire, non seulement au niveau des litières, mais également au niveau des horizons A_1. Une expérience antérieure de LOSSAINT (1959) mettait l'accent sur la variation des matières hydrosolubles des litières en fonction de l'activité microbiologique ; notre premier travail (1965) a confirmé ce résultat dans le cadre plus spécifique des acides hydrosolubles ; ensuite DOMMERGUES et DUCHAUFOUR (1965) apportèrent une preuve supplémentaire du rôle joué par les microorganismes dans la différence d'évolution des sols lessivés et podzoliques.

Le présent travail vient à l'appui de cette tendance et précise le devenir des acides organiques ; leur disparition dans le cas d'un sol lessivé et leur persistance dans celui d'un podzol pourraient expliquer la différence d'évolution pédogénétique de ces sols, tout au moins en ce qui concerne les mouvements du fer et de l'aluminium.

RÉSUMÉ

Ces recherches, effectuées sur les milieux en place et au laboratoire, portent sur l'évolution des acides hydrosolubles de faible poids moléculaire au niveau

des litières et des humus ; on assiste à des divergences significatives entre les sols lessivés (litière de chêne, mull) et podzoliques (litière de pin, mor).

1) A la chute des feuilles, la litière de chêne contient en % de matière sèche, 5 à 10 fois plus d'acides aliphatiques et aromatiques que l'horizon L du mor ; par contre, le tonnage du matériel feuillu est 10 fois plus faible que celui du matériel résineux.

2) Au cours de l'année, le poids de la litière de chêne diminue rapidement et s'annule pratiquement en fin de saison de végétation ; au contraire, le poids de l'horizon L du mor peut être considéré comme constant.

3) Au cours de la décomposition, la litière feuillue s'appauvrit très vite en acides (minéralisation) ; ces derniers persistent ou augmentent dans l'horizon L du mor (synthèse).

4) En tenant compte de cette double évolution, on constate que :

— L'acide citrique, réduit à l'état de traces dès juillet dans la litière de chêne, représente encore 2.500 à 3.000 g par hectare dans l'horizon L du mor ;

— L'acide vanillique, dosé en septembre, atteint 0,9 g par hectare dans le premier milieu et 95 g par hectare dans le second.

5) Pour ces deux acides, en évaluant la surface des courbes saisonnières, il est possible d'établir un bilan annuel dont le résultat est le suivant :

— le matériel résineux libère par hectare et par an, 14 fois plus d'acide citrique et 9 fois plus d'acide vanillique que le matériel feuillu.

6) Le coefficient de disparition de ces deux acides, voisin de 95 % dans le mull, atteint au plus 50 % dans le mor A_1 ; en tenant compte du bilan précédent, on en déduit que l'horizon A_2 d'un podzol reçoit 140 fois plus d'acide citrique et 90 fois plus d'acide vanillique que l'horizon A_2 d'un sol brun lessivé.

7) L'extraction aqueuse des acides, beaucoup plus efficace dans le cas des horizons A_1 podzoliques, permet de penser que le lessivage de ces composés sera plus effectif à travers tout le profil où ces produits provoqueront la podzolisation.

BIBLIOGRAPHIE

BERTRAND et DUCHACEK - 1909.
C.R. 148 - 1339.

BLOOMFIELD (C.) - 1955. — Leaf leachates as a factor in pedogenesis.
J. Sci. Food Agric. **6**, 641-657.

BLOOMFIELD (C.) - 1956. — The expériemental production of podzolisation.
VIe Congr. Inter. Sci. du sol. Paris **3**, (E.) 21-23.

BOCOCK (K.L.) et GILBERT (O.) - 1960. — Changes in leaf litter when placed on surface of soils with contrasting humus types.
I) Losses in dry weight of oak and ash leaf litter.
J. Soil. Sci. G. B. **11** (1), 1-9.

COULSON (C.B.), DAVIES (R.I.), LEWIS (D.A.) - 1960. — Polyphénols in plant, humus and soil :
I) Polyphénols of leaves, litter and superficial humus from mull and mor sites.
II) Reduction and transport by polyphénols of iron model soil columns.
J. Soil Sci. G. B. **11**, (1), 20-44.

DELONG (W.A.) and SCHNITZER (M.) - 1955. — Investigations on the mobilization and transport of iron in forested soils : I and II.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **19**, 360-3, 363-8,

DOMMERGUES (Y.), DUCHAUFOUR (Ph.) - 1965. — Etude comparative de la dégradation biologique des complexes organo-ferriques dans quelques types de sols.
Sci. du sol **1**, 43-59.

JACQUIN (F.) - 1963. — Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques.
Bull. ENSAN, V, (1), 156 p.

JACQUIN (F.), BRUCKERT (S.) - 1965. — Identification et évolution des acides hydrosolubles de deux litières forestières.
C. R. Acad. Sci. Paris, **260**, 4556-4559.

KAURICHEV (I.S.) et NOZDRUNOVA (Ye.M.) - 1961. — Role of the components of the water-soluble organic matter of plant residues in the formation of mobile organic iron compounds.
Pochvovedenie, **10**, 10-18.

KENDRICK (W.B.) - 1958. — Microfungi on pine litter.
Ph.D. Thesis University of Liverpool.

KENDRICK (W.B.) et BURGES (A.) - 1962. — Biological aspect of the decay of pinus silvestris leaf litter.
Nova Hedwigia, IV (3-4), 313 - 342.

KING (H.G.C.) et BLOOMFIELD (C.) - 1966. — The reaction between water-soluble tree leaf constituents and ferric oxide in relation to podzolisation.
J. Sci. Food Agric., **17**, 39-43.

LOSSAINT (P.) - 1959. — Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières.
Ann. Agron., **4**, 369-414 et **5**, 493-542.

LOSSAINT (P.) - 1966. — Complexation du fer par les percolats d'un humus brut d'épicéas incubé à différentes températures.
C. R. Acad. Sci. Paris **262**, 1673.

MAC FEE (W.W) and STONE (E.L.) - 1965. — Quantity distribution and variability of organic matter and nutrients in a forest podzol in New York.
Soil Sc. Soc. Am. Proc., **28** (4), 43-59.

MOLLIARD (M.) - 1922. — Sur une nouvelle fermentation acide produite par le Sterigmatocystis nigra.
C. R. Acad. Sci. Paris, **174**, 881-883.

MORGAN (J.V.) et TUKEY (H.B. Jr). - 1964. — Characterisation of leachate from plant foliage.
Plant Physiology **39** (4), 590-593.

MUIR (J.C.), MORISSON (R.I.), BOWN (C.J.) et LOGAN (J.) - 1964. — The mobilisation of iron by aqueous extratcs of plants :
I) - Composition of the amino-acid and organic-acid fractions of an aqueous extract of pine needles.
II) - Capacities of the amino-acid and organic-acid fractions of a pine needle extract to maintain iron in solution.
J. Soil Sci. G.B., **15** (2), 220-237.

NYKVIST (N.) - 1963. — Leaching and decomposition of water-soluble organic substances from different types of leaf and needle litter.
Studia Forestalia Suecica, **3** - Skogsbiblioteket Stockholm.

REMEZOV (N.P.) - 1961. — Decomposition of forest litter and the cycle of element in an oak forest.
Pochvovedenie, **7**, 1-12.

SUNDMAN (V.) - 1964. — The ability of α-conidendrin-decomposing Agrobacterium strains to utilize other lignous and lignin related compounds.
G. Gen. Microbiol. **36**, 185-201 - Univ. Helsinki Pihlayamäki.

VANCURA (V.), HOVADIK (A.) - 1965. — Root exudats of plants : II composition of root exudats of some vegetals.
Plant and Soil **22**, 21-32.

VAN DER DRIFT (J.) - 1963. — The disappearance of litter in mull and mor in connection with weather conditions and the activity of the macrofauna.
Soil organisms, 125-133 - North Holland publishing Company - Amsterdam.

WEHMER - 1893. — Cité par Aubel E. : Les fermentations.
Presses universitaires de France - 1960.

WITTICH (W) - 1963. — Bedeutung einer leistungefähigen Regenwurmfaune unter Nadelwald für Streuzersetzung. Humusbildung und allgemeine Bodendynamik und Grundlagen der forstlichen Standortskertierung und Grundzüge ihrer Durchführung.
Schriftenraihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, 30. Ed. J. D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main.